DER DOPPLEREFFEKT DER KANALSTRAHLEN IN ARGON.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

K. FRIEDERSDORFF

AUS KREUZBURG.

HALLE A. S.
HOFBUCHDRUCKEREI C. A. KAEMMERER & CO.
1914.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **E. Dorn.**

Meinen lieben Eltern!

Inhalt.

Seite

1. Einleitung, Literatur 7
2. Apparate und Versuchsanordnung 10
3. Gang der Versuche 12
4. Ergebnisse:
   a) Allgemeines 15
   b) einwertige Linien 17
   c) zwei- und höherwertige Linien 18
5. Zusammenfassung 25

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544302_0289

Einleitung.

Nach den Untersuchungen W. Wiens[1]) bestehen die Kanalstrahlen aus positiv geladenen chemischen Atomen, die sich zum Teil neutralisieren, während ein anderer Teil von neuem positive Ladung annimmt. Auf Grund seiner zahlreichen Beobachtungen am Spektrum der Kanalstrahlen in Metallen und Gasen kommt J. Stark[2]) zu der Annahme, die Kanalstrahlteilchen bekämen ihre Ladung schon in der negativen Glimmschicht: Durch den Stoß negativer Elektronen werden neutrale Gasteilchen ionisiert, d. h. ein negatives Elektron von ihnen getrennt, während ihre anderen Elektronen in Schwingungen geraten. Vermöge ihrer positiven Ladung bewegen sich diese Teilchen auf die Kathode zu, wobei nicht nur ihre Geschwindigkeit, sondern auch infolge der vermehrten Anzahl der Zusammenstöße — besonders bei Annahme von Resonanzstößen — ihre Lichtemission wächst. Ein Teil trifft nun auf die Kathode, wird dort reflektiert und trägt, während die elektrischen Kräfte ihn zur Kathode zurück zu treiben streben und seine Geschwindigkeit allmählich verkleinern, zur Verstärkung der Lichtemission bei. Ein anderer Teil geht durch die Löcher der Kathode, wobei die plötzliche Kraftänderung die Lichtemission weiter verstärkt. Während die Zusammenstöße mit

1) Ann. d. Ph. 8, p. 244, 1902; 9, p. 660, 1902; 13, p. 669, 1904; 27, p. 1025, 1908; 33, p. 871, 1910; Phys. Z. XI, p. 171, 1910; Sitzungsbericht d. Kgl. Bayr. Akad. d. W. 38, p. 55.

2) Ann. d. Ph. 21, p. 401, 1906; 26, p. 806, 1908; Phys. Z. VI, 892, 1905; VII, 249, 251, 1906; VIII, 79, 397, 913, 1907; IX, 767, 1908.

neutralen Gasteilchen die Translationsgeschwindigkeit herabmindern, ionisieren sie andererseits diese, so daß ruhende Atomionen neben freien negativen Elektronen gebildet werden, die sich aber auch wieder an einander anlagern.

Diese Annahme stand in Übereinstimmung mit den meisten Resultaten, die Stark und andere Autoren [1]) erhalten hatten. Bei einigen Gasen und besonders bei Quecksilber war es aber [2]) aufgefallen, daß die Linien verschiedener Serien einen verschieden großen Dopplereffekt aufwiesen, der nur durch einen Unterschied in der Geschwindigkeit der Träger der Serienlinien erklärt werden konnte. Für diesen Fall erweitert J. Stark [3]) seine Hypothese dadurch, daß die Ionisation eines Gases nicht bei der Abtrennung eines negativen Elektrons stehen zu bleiben brauche, sondern daß durch Abtrennung mehrerer Elektronen höherwertige Ionen entstehen, deren Linien infolge der verschiedenen Geschwindigkeit, die ihre Träger im elektrischen Felde erhalten, einen verschieden großen Dopplereffekt zeigen müssen.

Bei den Untersuchungen von Herrn Prof. Dr. E. Dorn [4]) über Argonkanalstrahlen war es aufgefallen, daß zwar die Linien des „blauen" Spektrums den Dopplereffekt aufwiesen, nicht aber die des „roten". Eine spätere Betrachtung eines von ihm am 14. 3. 1907 aufgenommenen Kanalstrahlspektrogramms mit einer weniger stark vergrößernden Lupe zeigte jedoch auch bei einigen lichtstarken Linien des „roten" Spektrums schwache Verbreiterungen, die sich von denen

---

1) J. Stark und W. Hermann, Ph. Z. VII, 92, (N u. H), 1906. — W. Hermann, Ph. Z VII. 567, (N); 1906. — H. Rau, Ph. Z. VII, 421, (He), 1906. — J. Stark und K. Siegl, Ann. 21, 457, (K und Na), 1906. — E. Dorn, Ph. Z. VIII, 589, (H, He, Ar), 1907. — E. Dorn, Ph. Z. X, 614, (Ne), 1907.

2) J. Stark, W. Hermann und S. Kinoschita, Ann. 21, 462 1906.

3) Ann. d. Ph. IV, 21, 1906, p. 467.

4) Phys. Z. VIII, 589, 1907. (Die Beobachtungen umfaßten das Gebiet von $\lambda = 4600$ bis $\lambda = 3600$ A. E. und ergaben den Dopplereffekt bei den (etwa 20) lichtstärksten Linien mit Sicherheit, bei 10 weiteren mit großer Wahrscheinlichkeit).

der „blauen“ Linien deutlich unterschieden ($\lambda = 4266{,}4$; 4200,8; 4191,0; 4158,7).

Indessen war eine Abtrennung des bewegten Streifens von der ruhenden Linie nur bei einigen im Violett liegenden Linien des blauen Spektrums festzustellen. Es veranlaßte mich daher Herr Prof. Dr. E. Dorn, die Untersuchungen mittels des von ihm benutzten, inzwischen verbesserten Uviolglasspektrographen weiter ins Ultraviolett hinein fortzusetzen, da die dort vorhandene größere Dispersion eine gute Ausbildung des Dopplereffekts wahrscheinlich machte.

Einige orientierende Versuche ergaben aber, daß die Lichtstärke des Spektrographen infolge der Absorption im Ultraviolett stark nachließ, so daß wegen der geringen Helligkeit der Argonkanalstrahlen, zumal sich die Expositionszeit infolge der starken Zerstäubung der Elektroden nicht beliebig verlängern ließ, ein Erfolg sehr zweifelhaft war. Um mir die Ausführung der Aufgabe dennoch zu ermöglichen, stellte er mir in äußerst liebenswürdiger Weise aus seinem Privatbesitz ein Konkavgitter zur Verfügung, mit dessen Hilfe es mir gelang, lichtstarke Spektrogramme der Argonkanalstrahlen zu erhalten.

Um der bei Argon zu erwartenden Zerstreuung der Kanalstrahlen durch die Zusammenstöße mit ruhenden Gasteilchen entgegen zu arbeiten, wurde ein möglichst geringer Gasdruck und hohe Spannung angewandt. Denn die hierdurch hervorgerufene Verminderung der Zusammenstöße und Vergrößerung der Geschwindigkeit der Teilchen mußte eine Vermehrung der Teilchen mit höherer Geschwindigkeit zur Folge haben, was die Ausbildung eines Intensitätsminimums begünstigte.

Apparate und Versuchsanordnung.

Als Spektralapparat diente mir ein Rowland-Konkavgitter von 1 m Brennweite und 7500 Linien pro inch, das auf einem Spektrographen Abneyscher Konstruktion[1]) montiert war. Zur Ermittelung der erforderlichen Krümmung der Kassette wurde der Bildort der Heliumlinien mit einer starken aplanatischen Lupe von 4 mm Brennweite festgestellt. Benutzt wurde hauptsächlich die zweite Ordnung, bei der 16,4 *Å. E.* auf 1 mm kamen. Durch zwei Quarzzylinderlinsen wurde das Bild der Kanalstrahlen auf den Spalt projiziert, der meist in einer Breite von 0,06 mm benutzt wurde. Als Vergleichsspektrum diente das *Ar*-Mischspektrum, wie es von einer für etwa 2 mm Druck gefüllten Spektralröhre bei Parallelschaltung einer Leydener Flasche erhalten wird. Die hierbei benutzte Röhre hatte den bei Eder und Valenta[2]) beschriebenen Quarzverschluß; die trotzdem auftretenden Kohlenwasserstoffe wurden mittels metallischen Kaliums, das in einen seitlichen Fortsatz elektrolytisch eingeführt war, beseitigt.

Da die anfangs verwendeten Eastmann-Films wegen ihrer geringen Empfindlichkeit namentlich im Ultraviolett eine zu lange Expositionszeit erforderten, gebrauchte ich bei späteren Aufnahmen die empfindlichsten Lumièreplatten (violettes Etikett), welche, 6 cm breit, dicht aneinander gereiht wurden. Die Expositionszeit wurde hierdurch auf die Hälfte herabgemindert. Zum Betrieb der Kanalstrahlröhre diente teils ein großes Induktorium für 60 cm Schlagweite, teils eine 40 plattige Influenzmaschine, deren Spannungen mittels Funkenstrecke ($r = 1$ cm) oder mit einem elektrostatischen Voltmeter von Siemens & Halske gemessen wurden.

1) Beschrieben von G. Eberhard, Zeitschrift fur Instrumentenkunde 25, p. 371, 1905.

2) Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien 1904, p. 240.

Die Angaben beider Meßmethoden stimmten zwischen 24000 und 30000 Volt bis auf $\pm$ 200 Volt überein. Die Füllung der Röhre geschah in folgender Weise:

Das in der Pipette A (Vgl. Figur 1) befindliche Rohargon wurde in einer Kaliumzelle B[1]) von Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff befreit. Von dort gelangte es durch ein mit Silberspänen gefülltes, in einer Kältemischung oder flüssiger Luft gekühltes Rohr C_1, welches zur Absorption der Kohlenwasserstoffe dienen sollte, in die Quecksilberpumpe D, durch die das Gas in den Vorratsraum E gebracht werden konnte. Ein Goldschaumrohr F vor diesem hielt die Quecksilberdämpfe zurück, während ein durch T-Stück mit ihm verbundenes Spektralrohr G die Reinheit des Gases zu kontrollieren gestattete. Ein Teil des Gases konnte aus dem Vorratsraum in das Röhrensystem H gelassen werden, welches durch die Hähne 6, 5, 1 und den Dreiwegehahn 4, dessen Bohrung immer nur mit einem der drei Wege in Verbindung stand, den Gasdruck in der Kanalstrahlröhre in weiten Grenzen zu variieren erlaubte. Im Röhrensystem H befand sich ferner ein Silberspanrohr C_2, das während der Dauer der Aufnahme mit flüssiger Luft gekühlt wurde. Von hier aus gelangte das Gas durch das Phosphorpentoxydrohr J, eine Kundtsche Feder und ein weiteres gekühltes Silberspanrohr C_3 in die Kanalstrahlröhre L. Die beiden mit flüssiger Luft gekühlten Silberspanrohre C_2 und C_3 bewirkten, daß jede Spur Kohlenwasserstoff, der sonst aus dem Hahnfett in beträchtlicher Menge frei wurde, sowie alle Quecksilberdämpfe vollständig absorbiert wurden.

Die Kanalstrahlröhre[2]) bestand aus einem 58 cm langen und 6 cm weiten Glasrohr, in dem am einen Ende eine 1 mm starke Ni-Platte von 5 cm Durchmesser als Anode so befestigt war, daß sie fast den ganzen Rohrquerschnitt erfüllte.

---

1) G. Gehlhoff, Berichte der deutschen physischen Gesellschaft, 1911, p. 271.

2) Vgl. Fig I, L.

Die Stromzuführung geschah an ihrer Rückseite durch einen in Glas geschmolzenen Platindraht. Als Kathode diente eine 1 mm starke, mit 1 mm weiten Löchern versehene *Ni*-Platte von 4 cm Durchmesser, die auf einem 8 cm langen und 4 cm weiten Glaszylinder so montiert war, daß ihr Rand 1 cm von der äußeren Röhre abstand. Durch diese Konstruktion wurde bewirkt, daß selbst nach mehrstündigem Gebrauch der Röhre trotz des starken Metallbeschlages der Glaswand die Entladung nur nach der Kathode hin ging, während bei einer anderen Befestigungsart die nach dem Beschlage der Glaswand gehenden Entladungen die Intensität des Kanalstrahlbündels merklich schwächten. Den Abschluß des 20 cm langen Kanalstrahlraumes bildete ein Glasschliff, auf den eine 5 mm starke Quarzplatte aufgepreßt und von außen durch weißen Siegellack und Klebwachs aufgekittet war. Zum Schutze gegen das Überspringen von Funken auf die mit Metall beschlagene[1]) Glaswand, was im Anfang öfters vorkam, wurden an den Einschmelzstellen der Platindrähte etwa 5 cm lange Glasröhren aufgeschmolzen, durch die, mit Paraffin isoliert, die Zuleitungsdrähte führten.

Zur Evakuation der Röhre dienten eine Ölpumpe, eine rotierende Quecksilberpumpe nach Gaede und eine Töplerpumpe.

Gang der Versuche.

Sollte eine Aufnahme gemacht werden, so wurden die Hähne 1, 5, 6, 7 und 9 geöffnet, und, während die Silberspanrohre C_2 und C_3 mittels elektrischer Heizöfen, die Kanalstrahlröhre mit dem Bunsenbrenner erhitzt wurden, mit der Ölpumpe evakuiert. War der Druck bis auf etwa 15 mm

1) Die Zerstäubung war so groß, daß *Ni*-Teilchen bis zu 0,1 mm Länge und 0,1 mgr Gewicht von der Kathode abgetrennt wurden.

gesunken, so wurden die Entladungen eines kleinen Funkeninduktors in öfters wechselnder Richtung durch die Röhre geschickt, und nach Öffnen von Hahn 8 und 19 und Schließen von 9 mit Gaede- und Töplerpumpe weiter gepumpt, unter fortwährendem Erhitzen. Waren nach mehrfachem Spülen mit trockener Luft die gröbsten Verunreinigungen entfernt, so wurde die Röhre unter andauerndem Erhitzen soweit evakuiert, daß die Entladungen des Induktors nicht mehr durchgingen. Wenn sich nach mehreren Stunden neue Gasmengen angesammelt hatten, wurde in der eben beschriebenen Weise von neuem mit trockener Luft gespült und evakuiert, bis auch nach 24 stündigem Stehen kein Gas aus den Elektroden mehr frei wurde. Dann wurden die Silberrohre C_2 und C_3 mit flüssiger Luft gekühlt, und nach einiger Zeit Argon aus dem Vorratsraum E in das Röhrensystem H bis zum Hahn 6 gelassen. Durch die Hähne 5 und 1 wurde dann der gewünschte Gasdruck in der Entladungsröhre hergestellt, während Hahn 4 dazu diente, den durch die Absorption des zerstäubten Elektrodenmetalles verringerten Gasdruck auf gleicher Höhe zu erhalten.

Die auf diese Weise erzeugten Kanalstrahlen hatten eine rötlich-blaue Farbe, die bei höherer Spannung in ein helles Blau (ähnlich dem der blau leuchtenden Kapillare einer Plückerröhre) überging. Als Verunreinigungen traten *Ni*-Linien, in geringer Intensität Wasserstoff, sowie im Ultravioletten eine schwache Sauerstoffbande auf, welche die Beobachtung des Dopplereffekts im Bereiche von $\lambda = 3050$ bis $\lambda = 3225$ *Å. E.* erschwerte.

Die Belichtungszeit schwankte bei den einzelnen Aufnahmen zwischen vier und acht Stunden. Die starke Erhitzung der Röhre durch die Kathodenstrahlen machte eine häufige Unterbrechung der Entladungen nötig.

Von fünfzehn mit Spannungen zwischen 24 000 und 42 000 Volt gemachten Aufnahmen erwiesen sich fünf wegen Unterbelichtung oder Unschärfe der Linien als unbrauchbar. Die Ausmessung der übrigen zehn Spektrogramme erfolgte

mittels eines mit Fadenkreuz versehenen Mikroskops von etwa vierzehnfacher linearer Vergrößerung an der Teilmaschine des Instituts. Die ermittelten Wellenlängen der Argonlinien wichen bis zu $\pm$ 0,2 *Å. E.* von den bei Eder und Valenta angegebenen ab; indessen ließ sich durch Vergleich der Kanalstrahllinien mit denen des Vergleichsspektrums stets nachweisen, daß es sich nicht um eine Verschiebung der Wellenlängen handelte, sondern um eine Änderung des Faktors *Å. E.*/mm, hervorgerufen durch die Benutzung der photographischen Platten anstelle der vollständig an der Kassette anliegenden Films. Da sich nun herausstellte, daß der Dopplereffekt verschiedener Linien Unterschiede aufwies, deren Ursache durch bloße Betrachtung der vergrößerten Linien nicht geklärt werden konnte, so wurden im Juli und August 1913 etwa 150 Linien von 4 verschiedenen Spektrogrammen mittelst des selbsttätig registrierenden Mikrophotometers von P. P. Koch[1]) ausgewertet. In dankenswertester Weise veranlaßte Herr Prof. Dr. P. P. Koch mit Genehmigung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Röntgen die Aufnahmen der Photometerkurven durch den Mechaniker des physikalischen Instituts in München, Herrn Aloys Hörtensteiner.[2]) Die aufgenommenen Verteilungskurven[3]) von denen 18 auf die Weise wiedergegeben sind, daß von den Originalplatten photographische Reproduktionen hergestellt wurden, die die Kurve dunkel auf hellem Grunde zeigten und ein genaues Durchpausen ermöglichten, zeigen das von P. P. Koch beschriebene[4]) Aussehen; die Zacken des Kurvenzuges rühren nicht etwa von Schwankungen in der Empfindlichkeit des Instrumentes her, sondern von der Verteilung der Silberkörner auf der ausgemessenen Platte. Meine Angaben über die Intensitätsverteilung im Doppler-

1) Ann. d. Ph. 39, p. 705, 1912.

2) Für die schnelle und sorgfältige Ausführung der Messungen bin ich ihm zu Dank verpflichtet.

3) Vgl. Photometerkurve 1—18.

4) Ann. d. Ph. 39, p. 705, 1912.

effekt stützen sich also zum Teil auf diese Verteilungskurven, zum anderen Teil beruhen sie auf einem Vergleich der nicht ausphotometrierten Linien mit photometrierten, die ihnen an Intensität und Art der Verteilung bei okularer Betrachtung gleich schienen.

Ergebnisse.

Allgemeines.

Im Allgemeinen zeigen die Argonlinien das bekannte Aussehen des Dopplereffekts: Ein wegen der Zerstreuung im schweren Gase nicht völlig lichtfreies Intensitätsminimum trennt den verwaschenen Streifen der bewegten Intensität von der infolge der heftigen Zusammenstöße lichtstarken ruhenden Linie. Reflektierter Effekt ist auf meinen Spektrogrammen nicht vorhanden; dagegen ist bei einigen Linien die stärker brechbare Kante der ruhenden Linie verwaschen, was wohl von einer Übertragung von kinetischer Energie auf ruhende Atomionen herrührt.[1]) Mißt man die maximale Verschiebung $\Delta\lambda$ des Dopplereffeks von der violetten Kante der ruhenden Linie, und berechnet[2]) die Geschwindigkeit $v = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda}$, so ergibt sich, daß die maximale Geschwindigkeit v nur um weniges hinter der theoretischen für einwertige Teilchen zurückbleibt, die sich aus der Gleichung

$$\frac{\mu v^2}{2} = \varepsilon \cdot \Delta v$$

---

1) Vgl. J. Stark, Beobachtungen über die Emission ruhender Serienlinien durch Kanalstrahlen, Ann. 42, p. 165, 1913.

2) Nach J. Stark, über die Lichtemission der Kanalstrahlen in Wasserstoff, Ann. d. Ph. 21, p. 411 und 413, 1906. Es bedeutet: v die Geschwindigkeit des Linienträgers inbezug auf den Beobachter, c die Lichtgeschwindigkeit, ε die Ladung, μ die Masse des Kanalstrahlteilchens, Δv den Spannungsabfall vor der Kathode.

bestimmen läßt. Nachfolgende Tabelle zeigt diese Übereinstimmung:

Aufnahme	Mittlerer Kathodenfall	Maximaler Kathodenfall	Berechnet $v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon}{\mu}} \Delta v$	Erhalten $v_{max} = \frac{c \cdot \Delta v}{\lambda}$
X	30 000	32 000	$3{,}9 \cdot 10^7$	$3{,}4 \cdot 10^7$
XIV	42 000	44 000	$4{,}6 \cdot 10^7$	$4{,}4 \cdot 10^7$
XIII	42 000	44 000	$4{,}6 \cdot 10^7$	$4{,}2 \cdot 10^7$
XV	30 000	32 000	$3{,}9 \cdot 10^7$	$3{,}6 \cdot 10^7$

Von den bei Eder und Valenta[1]) als blaues Argonspektrum geführten Linien treten auf meinen Kanalstrahlspektrogrammen, die den Bereich von $\lambda = 4965{,}4$ bis $\lambda = 2884{,}1$ *Å. E.* umfassen, mit geringen Ausnahmen alle auf. Allerdings ist ihre Intensität völlig geändert; oft treten schwache Linien äußerst stark auf (4449,1, 4309,3, 3472,7), während eine Anzahl stärkerer Linien entweder schwach oder gar nicht wahrnehmbar ist (3880,5, 3795,6, 3307,4).

Sämtliche stärkeren Linien meiner Spektrogramme zeigen nun den Dopplereffekt; da aber einige schwächere Linien, bei denen er auf weniger belichteten Spektrogrammen nicht vorhanden ist, auf den stärker belichteten ihn ebenfalls haben, und ferner die bewegte Intensität für dieselbe Linie annähernd proportional mit der ruhenden zunimmt, so kann man annehmen, daß sämtliche Linien des blauen Spektrums bei genügender Belichtungszeit den Dopplereffekt zeigen werden. Auch bei Linien des roten Spektrums, von denen alle stärkeren Linien Eder und Valentas, ungefähr in der von ihnen angegebenen Intensität, in meinen Spektrogrammen vorkommen, tritt ein teilweise gut ausgebildeter bewegter Streifen auf. Allerdings hat er ein anderes Aussehen wie

1) Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien 1904, p. 214ff.

bei den blauen Linien. Das Maximum der bewegten Intensität liegt viel näher an der ruhenden Linie; das Minimum ist nur schwach, oft kaum wahrnehmbar.

Mit großer Wahrscheinlichkeit war hieraus zu schließen, daß die Träger der „blauen" Argonlinien, wenigstens in der Mehrzahl, eine größere Geschwindigkeit besitzen mußten als die der „roten". Die richtige Deutung der so gewonnenen Ergebnisse wurde nun wesentlich erleichtert durch die Arbeit von J. Stark und H. Kirschbaum[1]) über Argonkanalstrahlen in Argon und Helium, die nach Beendigung des experimentellen Teils dieser Arbeit erschien. Die Verfasser weisen darin nach, daß die Linien des roten Spektrums ein-, die des blauen höherwertige Atomionen zu Trägern haben. Zwischen den verschiedenen Atomionen bildet sich ein Gleichgewicht derart, daß höherwertige durch Anlagerung negativer Elektronen einwertig, einwertige durch Ionisation höherwertig werden.

Die einwertigen Linien.

In Übereinstimmung mit J. Stark ergibt sich aus dem Verhalten der Linien des roten Argonspektrums auf meinen Spektrogrammen,[2]) daß ihre Träger einwertige Atomionen sein müssen. Denn im Gegensatz zu den Linien des blauen Spektrums[2]) liegt das Intensitätsmaximum des bewegten Streifens dicht an der ruhenden Linie, von ihr nur durch ein schwaches Minimum getrennt, dessen Ausbildung durch den Verlust an kinetischer Energie bei Zusammenstößen mit ruhenden Teilchen erschwert wird. Neben dem einwertigen Maximum treten im Dopplerstreif noch zwei weitere von geringerer Intensität auf, die daher rühren, daß zwei- und dreiwertige Teilchen durch Anlagerung von negativen Elektronen einwertig werden, aber in unverminderter Geschwindigkeit weiterfliegen. Daher rührt auch, daß diese Linien die

1) Ann. d. Ph. 42, p. 255, 1913.
2) Vgl. Tabelle I und II.

gleiche maximale Verschiebung aufweisen, wie die des blauen Spektrums. (Vgl. Photometerkurve 1.)

Bei hoher Spannung (36—42000 Volt) zeigt keine Linie des roten Spektrums Dopplereffekt, oder doch nur so schwach, daß sein Auftreten zweifelhaft ist. Dies hat wohl seinen Grund darin, daß die gebildeten einwertigen Teilchen bei Zusammenstößen wegen ihrer in diesem Falle großen kinetischen Energie in der Mehrzahl schon vor der Kathode ein weiteres Elektron verlieren und so zweiwertig werden. (Vgl. Photometerkurve 3 und 4.) Erst bei einer Spannung von etwa 33000 Volt wird der Dopplereffekt der „roten" Linien wahrnehmbar, und bei 30000 Volt ist er bei einigen gut ausgebildet. (Vgl. Photometerkurve 4.)

Auch in dem Verhalten der Linien verschiedener Serien machen sich Unterschiede bemerkbar. Es zeigt sich nämlich, daß mit Ausnahme der Linie 4259,5, deren Verteilungskurve durch die Linie 4255,7 gestört sein kann, bei keiner der Linien der Serien *A* und *B* von Rydberg ein Dopplereffekt sich mit Sicherheit feststellen läßt; dagegen haben fast sämtliche Linien der Serien *C* und *D* den Dopplereffekt,[1]) und zwar im allgemeinen *C* in größerer Intensität als *D*. (Vgl. Photometerkurve 2.) Den gleichen Dopplereffekt weisen auch diejenigen Linien auf, die zum roten Spektrum gehören, ohne bisher durch eine Serienformel zusammengefaßt worden zu sein. (Vgl. Photometerkurve 5.)

Zwei- und höherwertige Linien.

Die Mehrzahl der Linien des blauen Argonspektrums ist nach den Beobachtungen von Stark und Kirschbaum als zweiwertig anzusehen. Da sich nun zeigt, daß sämtliche zweiwertigen Linien ein weiteres Maximum aufweisen, was durch Umwandlung dreiwertiger Teilchen in zweiwertige erklärt werden kann, so suchen obengenannte Autoren in

1) Vgl. Tabelle I.

ihren Spektrogrammen nach dreiwertigen Linien; in der (allerdings unterbelichteten) Linie 4104,1 glauben sie eine solche zu erkennen, da bei ihr das zweiwertige Maximum beträchtlich schwächer ist als das dreiwertige; ein einwertiges Maximum und ruhende Intensität sind kaum vorhanden. Außer dieser Linie können sie im Bereiche von $\lambda = 4300$ bis $\lambda = 4000$ *Å. E.* keine weiteren Linien auf Grund ihrer Verteilungskurve mit Bestimmtheit als dreiwertig bezeichnen. Da aber die Linien 4222,8; 4218,8; 4156,3; 4076,9 das gleiche Verhältnis der ruhenden Intensität beziehungsweise des einwertigen Maximums zur bewegten Intensität aufweisen wie 4104,1, so glauben sie diese Linien ebenfalls zu den dreiwertigen rechnen zu können.

Allerdings kann das Verhältnis ruhender: bewegter Intensität bei 4104 durch das Vorhandensein von $H\delta$ im bewegten Streifen (gerade an der Stelle des dreiwertigen Maximums!)[1]) gestört sein, wodurch natürlich der Schluß auf die anderen Linien an Beweiskraft verlieren würde.

Die von mir aufgenommenen Spektrogramme bestätigen nun, daß die weitaus meisten Linien des blauen Spektrums zweiwertige Atomionen zu Trägern haben. Sie weisen im zweiwertigen Intervall die größte Intensität auf, während die anderen auf Ionisation bezw. Neutralisation beruhenden Maxima gegen das zweiwertige zurücktreten. (Vgl. Photometerkurve 6, 7, 8.) Das einwertige Maximum ist besonders bei den Linien gut ausgebildet, die auch im roten Spektrum Intensität besitzen. (Vgl. Photometerkurve 9, 10, im Gegensatz dazu 11, 12.)

Keine Linie meiner Spektrogramme, auch nicht die von Stark und Kirschbaum als dreiwertig bezeichneten, weist nun ein dreiwertiges Maximum auf, das größere Intensität als das zweiwertige hätte. (Vgl. Photometerkurve 13, 14, 15.) Indessen kann durch die Bedingungen bei der Aufnahme

1) Vgl. die Verteilungskurve der Linie 4104,1 in der Arbeit von J. Stark und H. Kirschbaum. Ann. d. Ph. 42, p. 266, 1913.

die Ausbildung der Verteilungskurve eines dreiwertigen Teilchens leicht derart beeinflußt sein, daß das zweiwertige Maximum das dreiwertige übertrifft, wenn z. B. die Anzahl der Teilchen, die erst hinter der Kathode dreiwertig werden, einen beträchtlichen Wert erlangt. Folgendes Beispiel möge die Möglichkeit dieses Falles zeigen:

Die maximalen Verschiebungen $\Delta\lambda_2$ und $\Delta\lambda_3$ der zwei- und dreiwertigen Teilchen verhalten sich wie $\sqrt{2} : \sqrt{3}$. Dieses Verhältnis bleibt aber, wie später[1]) gezeigt wird, für alle Teilchen, die aus derselben Schicht vor der Kathode stammen, auch noch bestehen, wenn die Geschwindigkeit der fliegenden Teilchen durch Zusammenstöße vermindert wird. Wenn also die Verteilungskurve der schon vor der Kathode dreiwertig gewordenen Teilchen die in Fig. a abgebildete Form hat, so wird für dieselbe Linie die Verteilungskurve der ursprünglich zweiwertigen Teilchen wie Fig. b aussehen:

Fig. a.

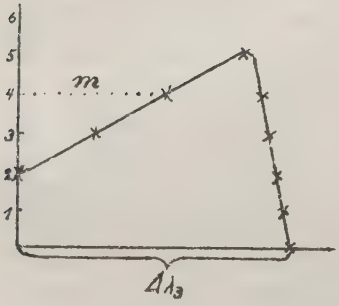


Fig. b.

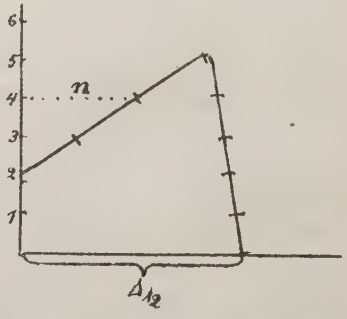


Fig. b ist aus Fig. a in der Weise gewonnen, daß für eine Anzahl Punkte der Kurve a die entsprechenden von b gemäß den obigen Bedingungen bestimmt wurden; (z. B. $\Delta\lambda_3 : \Delta\lambda_2 = \sqrt{3} : \sqrt{2}$; $m : n = \sqrt{3} : \sqrt{2}$, $n = m\sqrt{\frac{2}{3}}$). Überlagern sich beide Kurven, so überragt das zweiwertige Maximum das dreiwertige beträchtlich (Fig. c.). In diesem Falle, der eine gleiche Anzahl vor und hinter der Kathode entstandener

1) S. 23.

dreiwertiger Teilchen voraussetzt, ist es unter den angegebenen Bedingungen unmöglich, die Dreiwertigkeit der Linie aus der Verteilungskurve zu erkennen. Aber selbst, wenn die Anzahl der ursprünglich zweiwertigen Teilchen nur einen Bruchteil der dreiwertigen beträgt, überragt das zweiwertige Maximum immer noch das dreiwertige (Fig. d):

Fig. c.

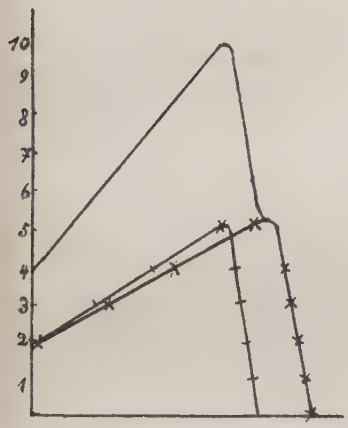
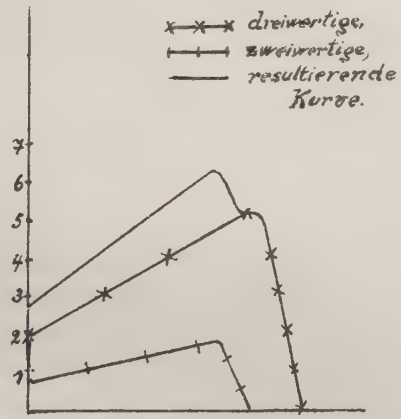


Fig. d.



Hinzu kommt noch, daß die Lichtemission eines erst hinter der Kathode dreiwertig gewordenen Teilchens stärker sein wird als die eines ursprünglich dreiwertigen, da dessen Schwingungen schon bis zu einem gewissen Grade abgeklungen sein werden, so daß auch hierdurch eine Verstärkung des zweiwertigen Maximums hervorgerufen wird. Den entgegengesetzten Einfluß würde es haben, wenn die Lichtemission eines dreiwertigen Teilchens erst bei beträchtlich höheren Geschwindigkeitswerten einsetzte als die eines ursprünglich zweiwertigen. Ein Grund zu dieser Annahme liegt jedoch nicht vor.

Das eben Angeführte ist vielleicht die Ursache dafür, daß bei meinen Aufnahmen das zweiwertige Maximum stets stärker ausgebildet ist als das dreiwertige, so daß eine genaue Trennung der Linien in zwei- oder dreiwertige un-

möglich durchzuführen ist. Ich habe daher in den Tabellen I und II nur die Intensitäten der Maxima angegeben.

Nehmen wir nun das Vorhandensein ein- und höherwertiger Ionen im Argon an, so müssen die maximalen Geschwindigkeiten der verschiedenwertigen Teilchen sich wie $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$ . . . verhalten. Die maximale Verschiebung, die

Tabelle III.

$(\Delta\lambda_2 - \Delta\lambda_1) : (\Delta\lambda_3 - \Delta\lambda_2) : (\Delta\lambda_4 - \Delta\lambda_3) = 0{,}42 : 0{,}31 : 0{,}27.$

Ph.	λ	Gefundenes Verhältnis
1	4198,4	4,2 : 3,2 : 2,7
	4191,0	4,2 : 3,2 : 2,8
4	4158,7	4,2 : 3,0 : 2,6
2	4266,7	4,2 : 3,0 : 2,6
	4259,5	4,2 : 3,1 : 2,6
5	3655,5	4,2 : 2,9
	3650,0	4,2 : 2,9
	3588,6	4,2 : 3,1
6	3582,5	4,2 : 3,0
	3581,8	4,2 : 3,0
7	4132,0	4,2 : 3,1 : 2,7
8	4132,0	4,2 : 3,1 : 2,8
9	3850,7	4,2 : 3,3 : 2,9
10	3738,0	4,2 : 3,3 : 2,9
11	3729,5	4,2 : 3,1
12	3491,7	4,2 : 3,1 : 2,7
13	4104,1	4,2 : 3,1 : 2,7
14	4104,1	3,1 : 2,7
15	4104,1	4,2 : 3,0 : 2,7
16	4072,2	4,2 : 3,1 : 2,8
17	4014,0	4,2 : 3,1 : 2,7
18	2943,2	4.2 : 3,1 : 2,6

ein dreiwertiges Teilchen erfährt, ist dann für dieselbe Wellenlänge um $k \cdot \frac{\lambda}{c} (\sqrt{3} - \sqrt{2})$ größer als die eines zweiwertigen, die eines zweiwertigen um $k \cdot \frac{\lambda}{c} (\sqrt{2} - 1)$ größer als die eines einwertigen.[1]) (Vgl. S. 15.) Mißt man nun bei einer Linie, in deren Verteilungskurve die verschiedenen Maxima deutlich ausgebildet sind (z. B. Photometerkurve 8, 9), die Abstände der Intensitätsmaxima von einander, so ergibt sich, daß sie annähernd im Verhältnis 0,42:0,31, d. h. $(\sqrt{3} - \sqrt{2}) : (\sqrt{2} - 1)$ stehen. Dieses Verhalten, das bei allen Linien mit ziemlicher Genauigkeit wiederkehrt (vgl. Tab. III), erlaubt wohl den Schluß, daß, wenigstens für die Mehrzahl der verschiedenwertigen Teilchen, das Geschwindigkeitsverhältnis durch Zusammenstöße nicht geändert wird.

Neben dem dreiwertigen Maximum ist bei einer Reihe von Linien noch ein weiteres, vierwertiges Maximum angedeutet. (Vgl. Photometerkurve 1, 2, 4, 7—10, 12—18.) Dehnt man die für das Verhältnis der Abstände des ein-, zwei- und dreiwertigen Maximums erhaltenen Ergebnisse auf das vierwertige Maximum aus, so muß sein Abstand vom dreiwertigen sich zu dem des letzten vom zweiwertigen Maximum wie $(\sqrt{4} - \sqrt{3}) : (\sqrt{3} - \sqrt{2} = 0{,}27 : 0{,}31$ verhalten. Eine Messung ergibt auch, daß es ungefähr an der durch diese Rechnung erhaltenen Stelle liegt. (Vgl. Tabelle III.) Sein Vorhandensein, das vielleicht in der hohen Spannung seinen Grund hat, läßt auf ursprünglich vierwertige Atomionen schließen, die durch Anlagerung negativer Elektronen zwei- und dreiwertig wurden. Aber ebenso, wie bei keiner Linie meiner Spektrogramme das dreiwertige Maximum das zweiwertige überragt, ist das vierwertige Maximum immer

---

1) k bedeutet eine Konstante, deren Größe durch die jeweilige Spannung bestimmt wird. $(\Delta\lambda = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2\varepsilon}{\mu}} \Delta v.)$

schwächer ausgebildet als das dreiwertige. Diese Erscheinung läßt verschiedene Deutungen zu.

Erstens kann man sich die stärkere Ausbildung des niederwertigen Maximums durch Überlagerung der höherwertigen Verteilungskurve durch eine niederwertige, die durch Ionisation entstanden ist, erklären. (Vgl. S. 21.)

Ferner könnte man, da die Möglichkeit einer Beeinflussung der Verteilungskurve der Linie 4104,1 durch $H\delta$ in J. Starks Photogramm[1]) nicht ausgeschlossen erscheint (vgl. S. 19, Z. 14), und somit der Nachweis des Auftretens einer drei- oder vierwertigen Linie bisher noch nicht unzweifelhaft erbracht ist, annehmen, daß zwar vor der Kathode drei- bezw. vierwertige Atomionen entstehen und die zugehörigen Geschwindigkeiten erlangen, aber infolge Neutralisation nur in geringer Zahl noch hinter der Kathode vorhanden sind, so daß wir drei- bezw. vierwertige Linien des Argon vielleicht überhaupt noch nicht kennen. Bei einer Beobachtung des Lichtes vor der Kathode müßten dann solche Linien nachweisbar sein.

Endlich ist die Möglichkeit vorhanden, daß sämtliche bekannten Linien des blauen Spektrums von zweiwertigen Atomionen emittiert werden können. Durch Abtrennung weiterer Elektronen werden nur gewisse Schwingungen verstärkt, andere geschwächt, so daß die höherwertigen Atomionen dasselbe Spektrum aussenden wie die zweiwertigen, nur in geänderter Intensität. Natürlich weisen dann besonders die Linien, welche durch die verstärkten Schwingungen hervorgerufen werden, z. B. die von J. Stark als rein dreiwertig bezeichneten, im drei bezw. vierwertigen Intervall große Intensität auf, ohne daß sie deshalb als spezifisch drei- oder vierwertig bezeichnet werden können.

Von diesen drei Hypothesen halte ich die letzte für die wahrscheinlichste, besonders da sie leicht in Einklang

---

1) Ann. 42, p. 266, 1913.

zu bringen ist mit der Annahme, daß das dritte (weiße) Argonspektrum durch Abtrennung weiterer Elektronen zustande kommt, und die Erscheinungen des dritten Spektrums sich durch sie erklären lassen.

Zusammenfassung.

1. Die vorliegende Arbeit bestätigt für eine große Anzahl von Linien die Ergebnisse, welche J. Stark und H. Kirschbaum im Bereiche von 4300—4000 *Å. E.* erhalten hatten, für den Bereich von 4965,4—2884,1 *Å. E.* Die Linien des roten Argonspektrums haben einwertige, die des blauen zwei- und höherwertige Atomionen zu Trägern. Zwischen den verschiedenwertigen Teilchen stellt sich durch Neutralisation bezw. Ionisation ein Gleichgewicht her.

2. Die Zahl der einwertigen bewegten Atomionen nimmt mit wachsender Spannung ab; bei 42000 Volt ist sie fast = 0, bei 30000 Volt kommen neben serienlosen Linien vor allem die Serien C und D zur Emission.

3. Neben zwei- und dreiwertigen Teilchen scheinen bei hoher Spannung auch vierwertige bewegte Atomionen in den Argonkanalstrahlen aufzutreten. Die Zuordnung der Linien zu verschiedenwertigen Trägern ist aber nicht mit Sicherheit durchzuführen.

I. Rotes Argonspektrum.

Serie	Eder und Valente		Kanalstrahlen 30000 Volt		42000 V.	Serie	Eder und Valente		Kanalstrahlen 30000 Volt		42000 V.
	Int.	λ	ruh. I.	bew. I.	ruh I.		Int.	λ	ruh. I.	bew. I.	ruh. I.
—	5	4888,2	3	?	4	A	5	3894,8	4	?	*2
—	2	753,0	1	O	*2	A	6	34,8	7	O	4
A	5	02,4	3	O	4	C	5	781,1	7	†	6
A	8	628,6	5	?	4	C	2	75,6	2	?	4
A	8	596,3	8	O	*3	B	4	70,8	4	?	4
B	6	22,5	6	O	2	D	2	696,7	1	?	0
A	10	10,9	9	O	6	D	4	91,1	1	?	0
C	4	363,9	2	?	0	—	6	78,4	3	?	1
A	10	45,3	10	?	*4	A	2	75,4	2	?	0
A	8	35,4	9	?	*4	A	4	70,9	3	?	0
A	6	33,7	10	?	*6	—	1	63,4	1	?	0
C	10	00,2	*9	††	9	C	3	59,7	*2	†	1
C	10	272,3	**9	††	*9	—	5	50,0	**5	†	2
C	10	66,4	**9	††	*9	C	3	43,3	*4	†	0
A	10	59,5	**10	††	*9	C	6	34,6	5	†	2
D	6	51,3	**7	?	6	C	6	32,8	4	†	2
—	4	02,1	3	?	0	C	6	06,7	*6	†	2
—	10	00,8	*10	††	10	A	2	599,2	*1	?	0
C	10	198,4	**10	††	9	A	3	72,4	*6	?	*6
B	10	91,8	**10	?	10	B	3	59,7	10	††	*9
D	10	91,0	**10	††	10	D	3	56,2	3	?	0
B	9	82,0	**10	††	*8	D	4	54,5	7	?	*5
D	9	64,4	**8	†	**7	B	3	493,4	7	O	*8
D	10	58,7	**10	††	**10	C	4	61,2	8	†	0
—	5	53,0	**3	?	*3	C	0	398,0	2	O	2
C	5	054,7	3	?	0	D	4	94,0	8	†	5
C	6	46,0	4	?	0	D	3	92,9	3	?	0
C	10	44,5	9	††	8	C	2	87,8	2	O	1
C	1	3979,6	4	?	4	C	3	73,7	4	†	2
D	10	49,1	9	††	8	—	2	25,6	2	†	0
D	5	47,8	5	†	4	D	2	19,4	6	†	4
B	4	00,0	3	O	0						

Anmerkung: Die Intensitäten der ruhenden Linien und der bewegten Maxima sind bei den mit * bezeichneten Linien photometrisch festgestellt, sonst roh geschätzt. Es bedeutet: O Dopplereffekt nicht vorhanden; ? fraglich; † stark; †† sehr stark ausgebildet; ** Photometerkurve auf Tafel 1—18 wiedergegeben.

II. Blaues Argonspektrum.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum									
			30 000 Volt					42 000 Volt				
Intensität		λ	ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
0	6	4965,4	5	2	2	1		5		2		
	4	55,3	1		O							
	6	33,5	2	1	1			3		2		
	4	05,1	2	1,5	1			2		O		
	4	888,9										
5	2	2	4	2	2	1		4		1		
	4	82,5	4		?							
	8	80,1	10	8	9	9		*10	6	7	5	2
	6	66,1	1		O			*4		O		
	2	61,4	8	3	3	2		*6		?		
	8	47,9	6	4	5	4		*5	2	2,5	2,5	2
	1	34.3	1		O			*2		?		
	10	06,2	10	8	9	9		*10	5	6	5	3
	1	792,3	2		?							
	5	65,0	9	7	8	7		*10	6	6	4	2
	2	54,6	1		?							
1	6	36,0	8	5	7	6		*9	4	5	4	
	4	27,0						*10	7	8	5	1
	3	08,7						4		?		
5	1	02,4	3		O			4		O		
1	5	658,0	8	7	8	6		*8	3	5	4	1
	5	37,4	5	3	3	2		*5	2	2	1	
2	8	09,7	10	9	10	8		*10	7	8	6	3
	7	590,1	10	9	9	8		*8	5	6	4	2
	8	79,5	10	8	9	7		7	3	4	2	
	2	65,4	2		?							
	3	64,6	3		?			3		O		
	8	45,3	10	8	9	7		8	3,5	5	3	
	3	35,7	2		?							
	3	30,7	2		?							
	5	03,2	4		O			2		O		
	4	498,7	*4	2	1			*2		O		
	4	91,2	*4	1,5	2	1		*2	1	2	1	
1	6	82,0	*10	9	9	8		*8	5	7	5	
	2	75,2	*6	2,5	3	2		*3		O		

Fortsetzung.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum									
			30 000 Volt					42 000 Volt				
Intensität		λ	ruh.	bewegt Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
	2	4460,7	*4	2,5	3	2		*1		O		
	2	49,1	*8	5	6	3	1	*4	1,5	2	1	
	1	43,5	*3		?							
	1	39,5	5	3	2			*4		O		
	3	34,1	7		?			*6		?		
1	4	30,4	9	8				*8		?		
3	8	26,2	10	9	9	8		*10	7	8	6	2
2	6	01,2	10	9	9	8		*9	5	6	4	2
	2	383,9	7	5	4	3		*5		1		
2	6	79,8	9	6	8	7		*8	5	6,5	4	1
	2	76,2	7		?			*5		O		
1	}	71,5}										
	6}	70,9}	*10	8	9	8		*8	5,5	6,5	5	2
	1	68,0	5		?			*6		?		
	3	62,2	4	1	2	2		*4		O		
	5	52,4	6	4				*6		?		
3	10	48,1	10	9	10	9	5	*10	7	8	6,5	4
6	1	33,7	10		?			*6		?		
1	8	31,3	10	8	9	8	4	*6	3	4	2,5	1
	2	09,3	*8	6	7	5,5	2	6	1	2	1,5	
	3}	00,8}										
10	}	00,3}	*10	7	7	6	2	9	1,5	3	1	
	5	283,0	5	1	2	2		4	1	1,5		
1	10	77,7	*10		?			9	2,5	4	3	
	4	75,3	*4		?							
10	8	66,4	*10	9	9	8,5		9	2,5	4	3	
	1	55,7	*1		?			1		?		
	5	37,3	6		?			*5		?		
	1	29,8	3		?			*2		O		
	1	28,6	3		?							
2	5	28,3	7	5	4			*7		3	2	
	6	22,8	5	1	2	2						
	4	03,5	2		?			1		O		
10	1	00,8	10		?			10		?		
10	1	191,0	*10	9	7	5	2	10		2		

Fortsetzung.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum									
			30 000 Volt					42 000 Volt				
Intensität		λ	ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
	8	4183,0	*10	7	8	6		8	1	3	2	
	5	79,5	*6		?			4		O		
	5	78,6	*2		O							
	5	75,3	*2		O							
	6	72,1	*1		O							
9	1	64,4	*8	2,5	2			*6		O		
10	1	58,7	*10	9	9	6	3	*10		?		
	6	56,3	*4		?			*4	2	2	1	
	3	46,7	*1		O							
2	8	32,0	**8	7	7,5	7	5	**7	2	3	2,5	1,5
	5	13,0	**5	1,5	2	1,5	1	**2	1	1		
2	10	04,1	**10	10	9	8,5	7	**9	4	4	3,5	2,5
	3	099,6	*2		?							
	2	97,4	*1		?							
	1	89,0	*2		O							
	6	82,6	*6		O			*6		O		
	4	80,9	*7		O							
	6	79,8	*7		?			**6		?		
	2	77,2	*6	5	4			**6	3	2		
	8	76,9										
	5	72,6	*10	10	10	9	2	**10	5	7	6	3
	8	72,2										
	4	65,8	*1		O							
	6	53,1	7	3	4	4		*6	1	2	1	
	8	43,0	7	6	7	6,5		8	3	4	2	
	6	39,0	5		?							
	5	35,6	4		?			3		O		
	6	34,0	6	3	3	2		4	1	2	1	
	4	23,7	1		O							
2	8	14,0	7	4	6	5		**8	2	3,5	3	1,5
	4	3994,8	5		?			*6		?		
	6	92,2	5	2	2			*4		?		
1	7	79,6	4		?			4		?		
	6	74,7	5	1	2			4	1	2	1,5	
	4	68,5	7	3	4	3		6	1,5	2,5	2	

Fortsetzung.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum									
			30 000 Volt					42 000 Volt				
Intensität		λ	ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
	4	3960,6	4		?							
	2	52,8	3		?			2		O		
	5	46,2	6		?			6		?		
	6	44,5	7	5	5	4		6	2	3	2	
	6	32,7	2		?			6		?		
	5	31,3	8	5	?							
1	10	28,8	8	5	4	4		8	2	4	3	1
	6	25,9	7		?			4		?		
1	8	14,9	5	3	3	2		6	2	2		
	6	11,7	4	2	2							
	6	07,8	3	1	1							
	2	00,8						1		O		
	8	892,2	6	2	2			*4	1	2,5	1,5	
	6	80,5	1		O							
	8	75,4	3	1	2	1		*4	1	3	1	
	6	72,3	2		?			*1		O		
	8	68,7	8	6	7	5		*6	2	2,5	2	1
	4	58,5	7	1	3	2		*6	1	2	1	1
3	10	50,7	10	8	9	7		**8	3	4	3,5	1
	2	46,9	1		O							
	5	45,5	1		O							
	5	30,6	2		O			4	1	2	1	
	6	26,9	4	2	2			4		?		
	3	19,2	1		O							
2	6	09,6	6		?			6		?		
	5	08,7	6		?							
	5	03,4	5	2	2			4		O		
	5	799,7	2		?			1		O		
	4	96,8	2		O							
	7	95,6	2		O			1		O		
	6	86,6	4		O			4		O		
4	}	81,5										
5	8 }	81,1	7	3	4			6	2	4		
4	4	70,8	4		?			4		O		
2	8	65,5	7	5	4			8	3	4	4	

Fortsetzung.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum								
			30 000 Volt					42 000 Volt			
Intensität		λ	ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
	5	3753,6	2		?			2		O		
	2	39,9						*2		O		
1	8	38,0	*8	7	7	6	2	**7	3	3	2	1
	10	29,5	*10	8,5	9	7	5	**9	3	4	3,5	
	4	24,7	*2		O							
	8	18,4	*8	6,5	7	6,5	1	*6	2	3	2	
5	1	680,3	1		O			1		O		
6	1	78,4	2		O			1		O		
	6	60,7	*2		?							
	5	56,3	*2		O							
	6	55,5	**6	3	4	2,5		2		O		
	6	51,0	1		O			2		O		
	6	40,0	*4		?			2		O		
	7	38,0	*4		?			2		O		
	5	37,3										
	6	22,3	*4		O			1		O		
	1	11,1	*2		O			2		O		
	2	00,2	*2		O							
	3	598,3	*4		?			*2		O		
5	10	88,6	*10	8	8	7		**8	4	5	3,5	
2	6	82,5	*10	8	8	7		**7	3,5	4	2,5	
1	6	81,8										
3	8	76,8	*10	7,5	8			*8	4	5		
	5	65,2	6	4	4			*4		2		
1	4	61,5	8		?			*8		?		
	5	61,2										
3	6	59,7	10	7	8	7		*9	6	7	5	
	5	48,7	5		O			*4		O		
	10	46,0	10	6	7	6		*9	6	7	5	1
	10	45,8										
	6	35,5	5	2	3	3		2		O		
	5	22,1	2		?							
	5	21,5										
	6	20,2	5	3	3	2		2		O		
	8	19,5										

Fortsetzung.

Eder und Valente			Kanalstrahlspektrum									
			30 000 Volt					42 000 Volt				
Intensität		λ	ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
1	8	3514,5	10	5	4			10				
	3	11,4						4		O		
	1	07,8	6		?			4		O		
	3	05,1	2		O							
	1	02,0	4		?			*2		1		
	3	499,9	2		O							
	10	91,7										
	5	91,4	10	7	8	8		**8	3,5	4	3	1,5
	1	84,1	5		?			*4		?		
	5	80,7	4	2	2			*2		?		
1	8	77,0	6	3	4	3		*4	1	1,5		
	1	72,7	6		O			*6		?		
	1	55,1	3		?							
	2	38,2	6		?			4		O		
	2	32,8	6		?			*6	1	3	2	
	4	30,6	2	1	1							
	2	24,4	6		?			*4	1	1	1	
	1	394,0										
4		93,5	8	3	?			7		O		
	6	91,9						4		O		
	6	88,7	2		O			1		O		
	2	81,3	4		O			3		O		
	6	76,6	6	3	3	2		3		?		
	4	71,1						6		?		
	4	66,8	2		O			2		O		
	1	61,3	2		O			2		O	2	
	2	52,3	7	2	3	2		4		?		
	5	51,1						4	1	2	2	
	3	44,9	4	1,5	2	1		2	1	1		
	3	36,3	4	2	2	1,5		3	1	1		
	6	07,4	2		?							
	5	02,0	2	2	2	1,5		2		O		
	5	293,8	2	1	2	1		2		O		
	6	85,9	2	1	2	1		3		1,5		
	6	81,8	2		?							

Fortsetzung.

Eder und Valente Intensität		λ	Kanalstrahlspektrum 30 000 Volt					42 000 Volt				
			ruh.	bewegt. Max.				ruh.	bewegt. Max.			
rot	blau		Int.	I	II	III	IV	Int.	I	II	III	IV
	5	3263,7	2		?							
	3	50,0	2	1	2	2		2		?		
	2	43,9	4	3	2	2		2		?		
	4	12,8	3		?							
	5	04,5	2		?							
	4	194,5	2		?							
	6	81,3	2		?							
	6	69,9	4		?							
	6	61,6	3		?							
	6	39,3	2		?							
	8	093,6	4	2	?							
	2	83,2	2		?							
	1	48,6	2		?							
	4	33,8	2	1	1							
	4	02,7	2	1	1			4		?		
2	8	2979,4	*4	2	2	1,5	1	2		?		
1	8	43,2	**6	3	3	2,5	1	*4	1	2	2	1
	3	31,7	2		?							
3	6	891,9	2		O							
	4	84,1	6		?			6		?		

Bereich der Sauerstoffbande

Erläuterung der Photometerkurven.

A. Verteilungskurven einwertiger Linien.

1. Auftreten der verschiedenwertigen Maxima (Aufnahme XV).
2. Dopplereffekt verschiedener Serien; 4272 Serie C, 4251,3 Serie D (Aufnahme XV).
3. Fehlen des Dopplereffekts bei hoher Spannung (Aufnahme XIV).
4. Niedere Spannung; Dopplereffekt (Aufnahme XV).
5. Dopplereffekt d. serienlos. Linien; 3650,0 (Aufnahme XV).

B) Verteilungskurven höherwertiger Linien.

6. Auftreten der verschiedenwertigen Maxima; 42 000 Volt (Aufnahme XIII).
7. Dasselbe bei 30 000 Volt (Aufnahme XV) und
8. bei 42 000 Volt (Aufnahme XIV).
9., 10. Hervortreten des einwertigen Maximums bei Linien, die auch im roten Spektrum Intensität besitzen (Aufnahme XIV).
11., 12. Gegensatz hierzu (Aufnahme XIV).
13. 4104,1 bei 30 000 Volt (Aufnahme XV),
14. bei 42 000 Volt (Aufnahme XIV),
15. bei 42 000 Volt (Aufnahme XIII).

} Das dreiwertige Maximum überragt nie das zweiwertige.

16. Gesetzmäßige Lagerung der Maxima; 42 000 Volt (Aufnahme XIV).
17. Auftreten eines vierwertigen Maximums; 42000 Volt (Aufnahme XIV).
18. Dasselbe bei 30 000 Volt (Aufnahme XV).

Die vorliegenden Untersuchungen wurden von Juli 1911 bis Oktober 1913 im physikalischen Institut der Universität Halle angestellt.

Ich möchte nicht unterlassen, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, dem Geheimen Regierungsrat Herrn Professor Dr. E. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und das stete, fördernde Interesse, das er mir während ihrer Ausführung bewahrte, meinen ergebensten Dank auszusprechen. Zu besonderem Dank hat er mich dadurch verpflichtet, daß er mir seine reichen Erfahrungen auf diesem Gebiete und besonders seine eigenen Untersuchungen hierüber gütigst zur Verfügung stellte.

Großen Dank schulde ich auch Sr. Exzellenz Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. Röntgen und Herrn Professor Dr. P. P. Koch, durch deren gütiges Entgegenkommen die photometrische Auswertung meiner Spektrogramme möglich wurde.

Dank sage ich auch Herrn Dr. Kolhörster für die mir freundlich erteilten Ratschläge.

Lebenslauf!

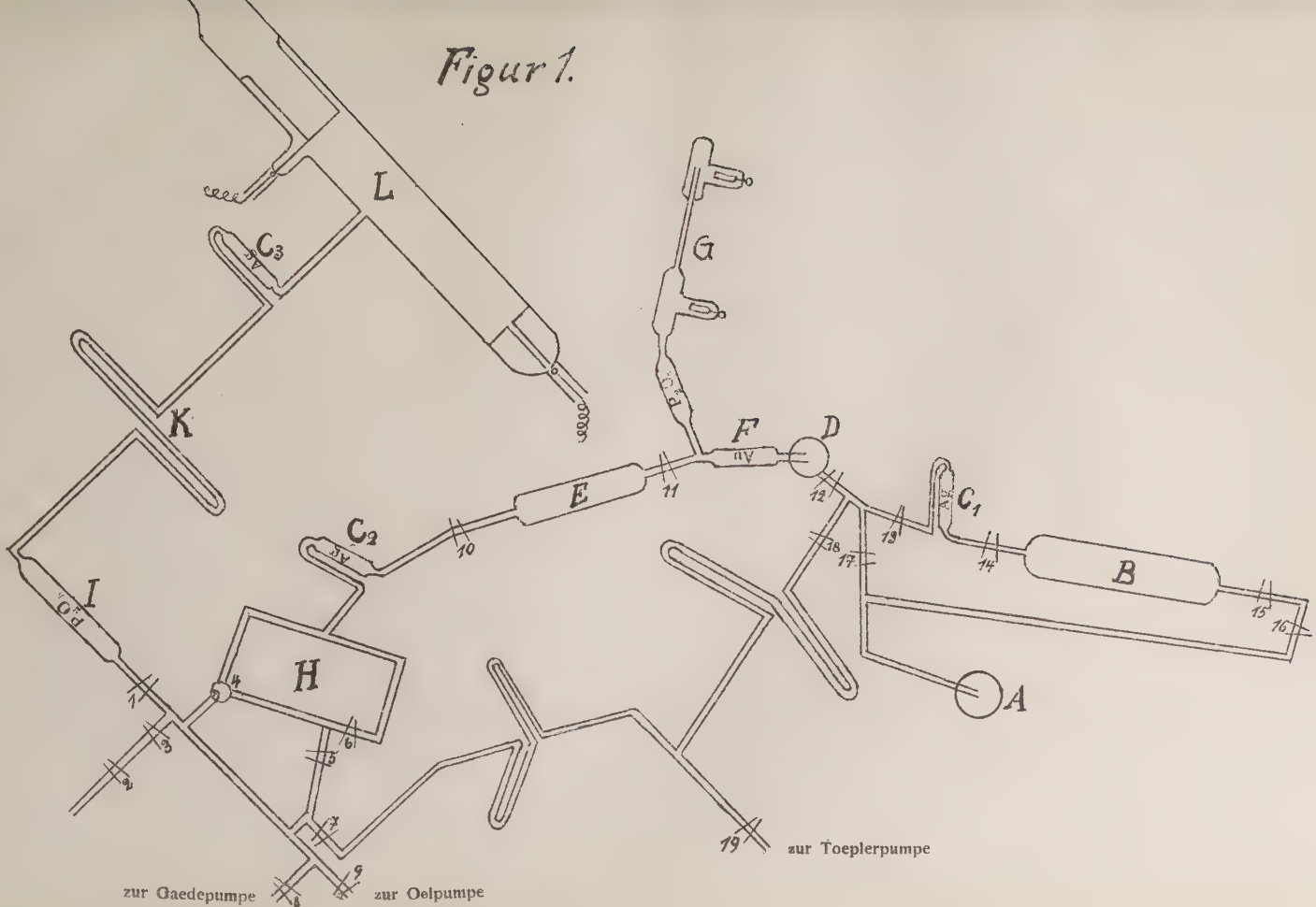
Geboren wurde ich, Konrad Friedersdorff, am 21. August 1891 zu Kreuzburg O.-S., als Sohn des Kgl. Oberlandmessers Max Friedersdorff und seiner Ehefrau Marie geb. Scholz. Ich bin evangelischer Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit. Zuerst besuchte ich die Vorschule des Gymnasiums zu St. Maria Magdalena in Breslau, dann die evangelische Stadtschule in Leobschütz O.-S. und von Ostern 1900 an das dortige Gymnasium. Januar 1908 trat ich in die Unterprima des Stadtgymnasiums zu Halle ein, das ich Ostern 1909 mit dem Reifezeugnis verließ. Ich studierte darauf Naturwissenschaften und Mathematik an der Universität Halle. Die mündliche Doktorprüfung bestand ich am 25. Februar 1914.

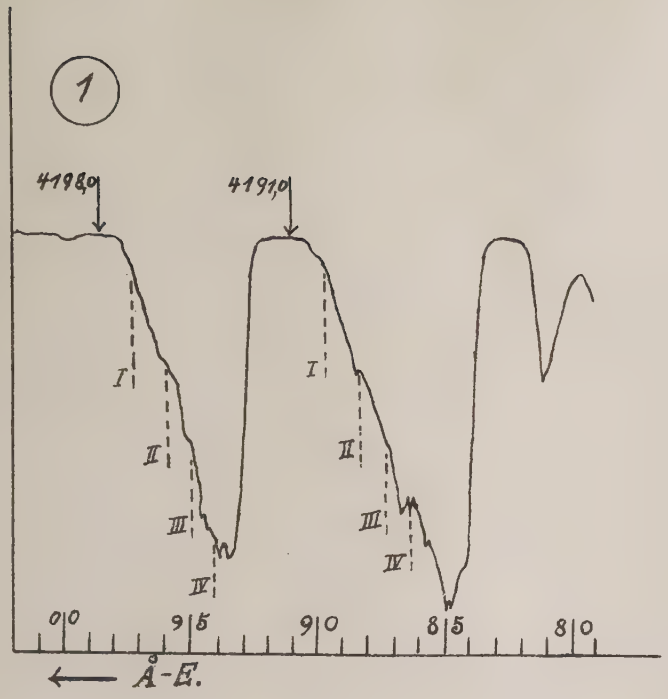
Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

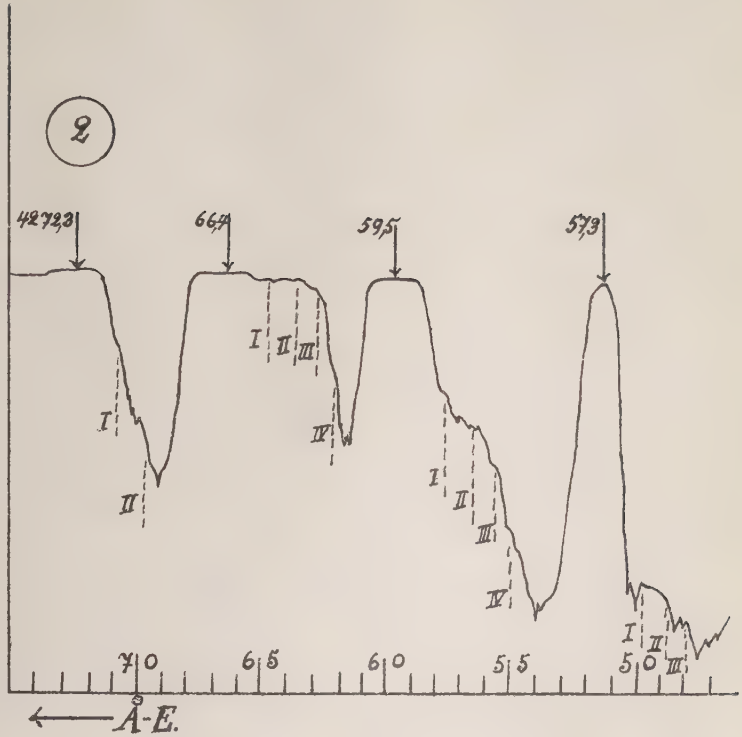
Buchholz, Dorn, Goldschmidt, Gutzmer, Haecker, Krüger, Menzer, Schmidt, Tubandt, Uphues, Vorländer, Wangerin.

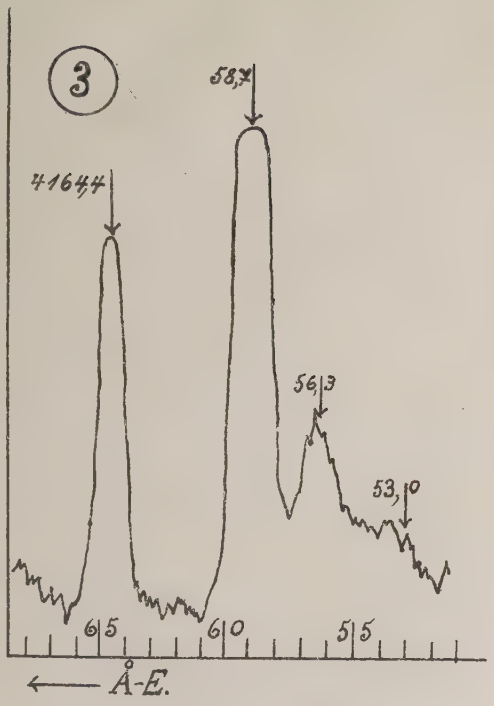
Ihnen allen bin ich zu großem Danke verpflichtet.

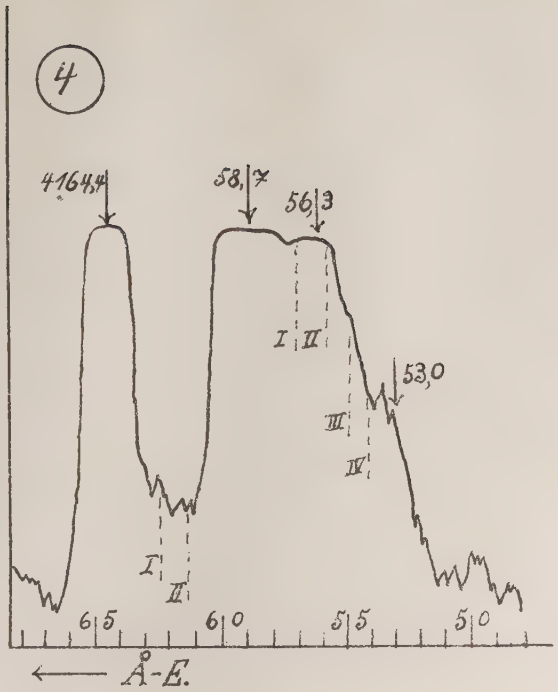
Figur 1.

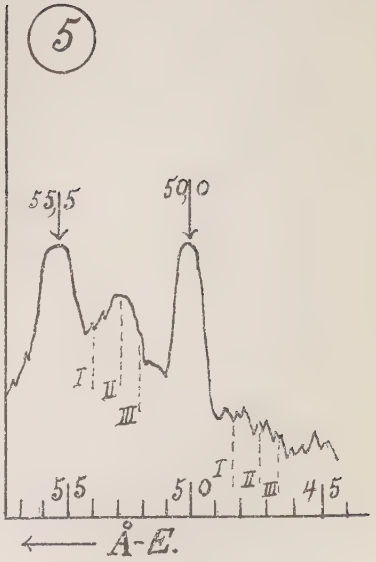

L
C3
K
G
F
D
E
C2
C1
I
H
B
A
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
zur Gaedepumpe
zur Oelpumpe
zur Toeplerpumpe

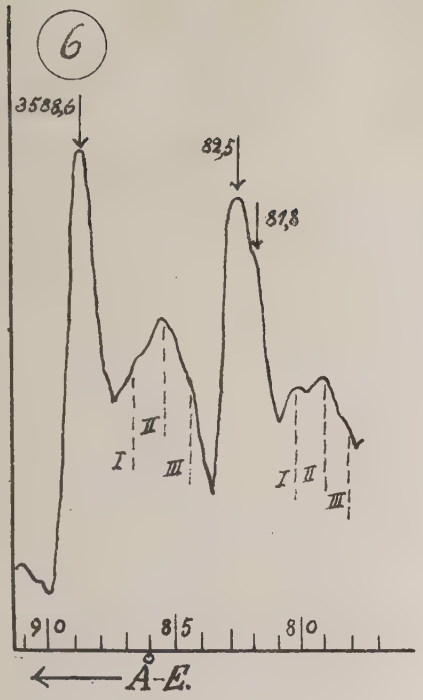

1
4198,0
4191,0
I
II
III
IV
I
II
III
IV
0 0
9 5
9 0
8 5
8 0
Å-E.

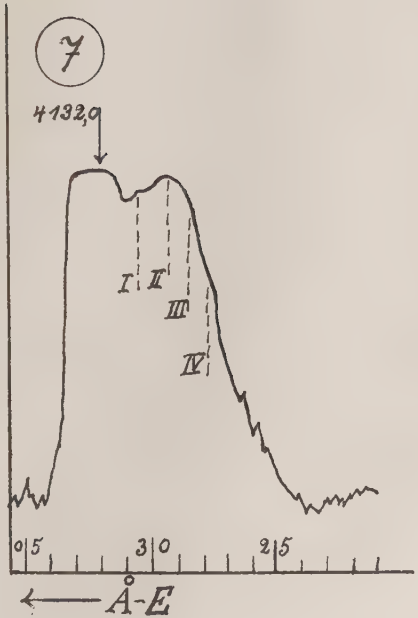

2
4273,3
66,7
59,5
57,3
I
II
III
IV
I
II
III
IV
I
II
III
7 0
6 5
6 0
5 5
5 0
Å-E.

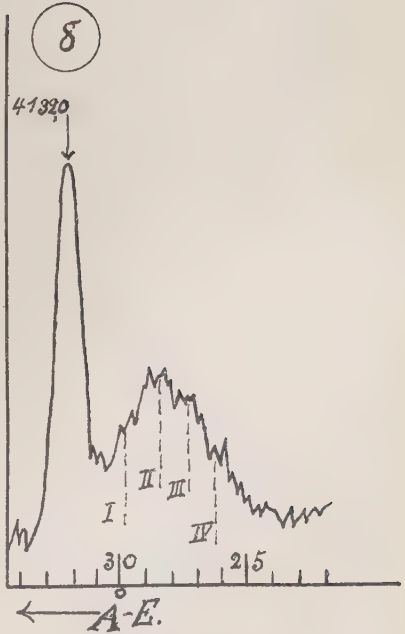

3
58,7
41644
56,3
53,0
6 5
6 0
5 5
Å-E.

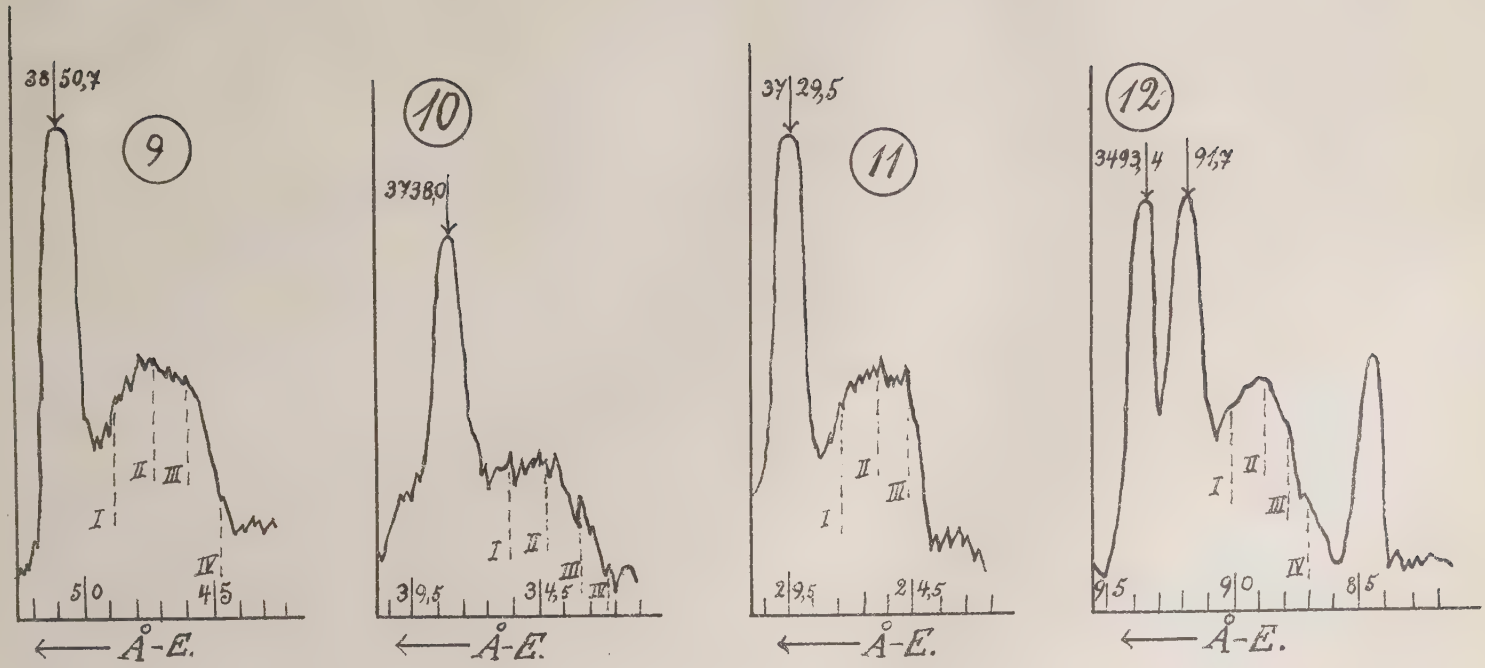

4
41644
58,7
56,3
I
II
III
IV
53,0
I
II
6 5
6 0
5 5
5 0
Å-E.

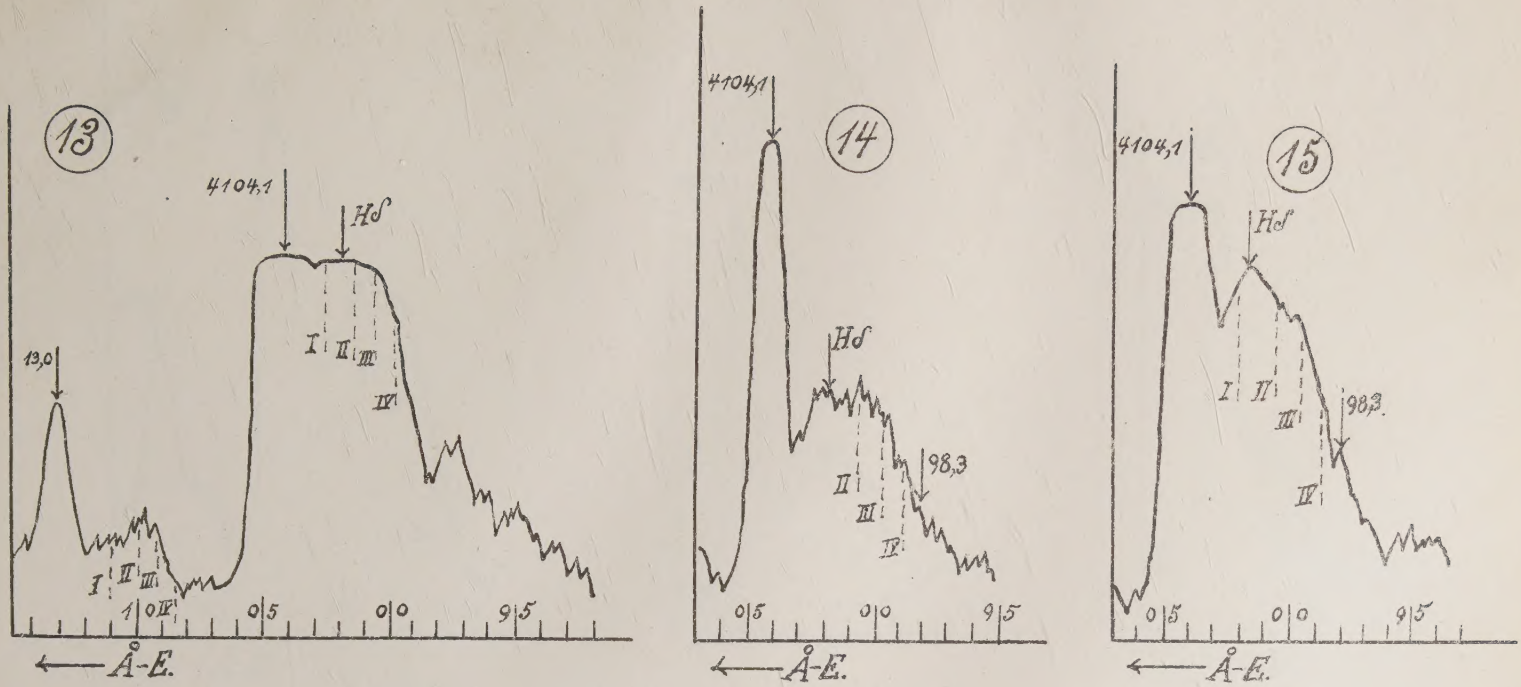

5
55,5
59,0
I
II
III
I
II
III
5 5
5 0
4 5
Å-E.

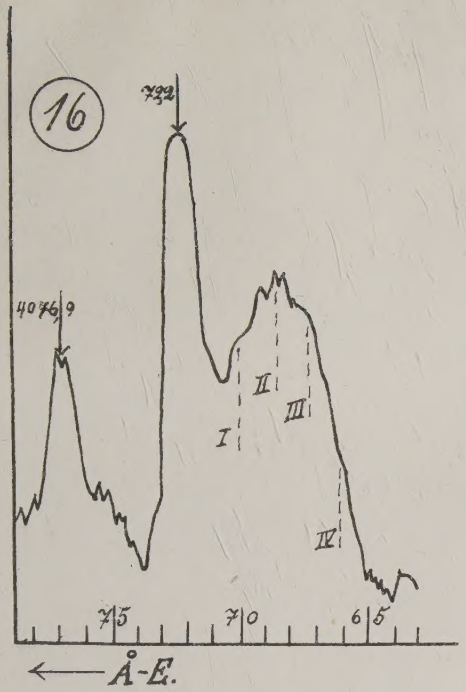

6
3588,6
82,5
81,8
I
II
III
I
II
III
9|0
8|5
8|0
Å-E.

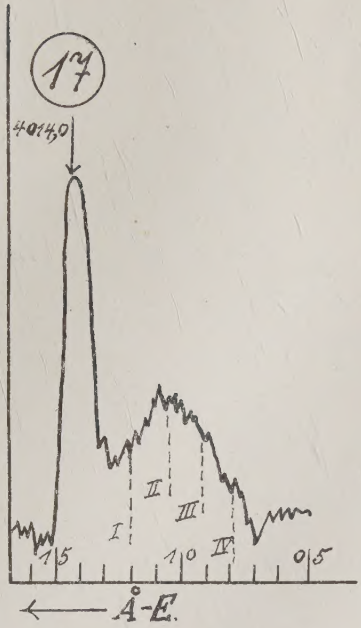

7
4132,0
I
II
III
IV
0|5
3|0
2|5
Å-E

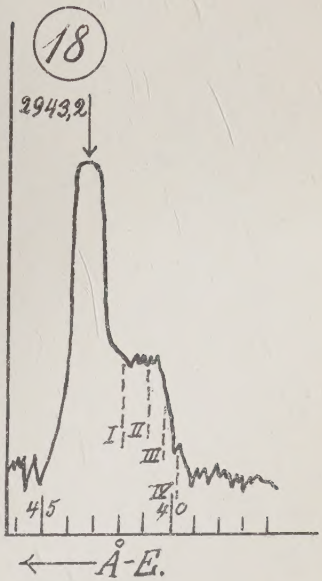

8
4132,0
I
II
III
IV
3|0
2|5
Å-E.


9
38|50,7
I
II
III
IV
5|0
4|5
Å-E.
10
37|38,0
I
II
III
IV
3|9,5
3|4,5
Å-E.
11
37|29,5
I
II
III
2|9,5
2|4,5
Å-E.
12
3493,4
91,7
I
II
III
IV
9|5
9|0
8|5
Å-E.


13
4104,1
Hδ
13,0
I
II
III
IV
I
II
III
IV
1 0
0 5
0 0
9 5
Å-E.
14
4104,1
Hδ
98,3
II
III
IV
0 5
0 0
9 5
Å-E.
15
4104,1
Hδ
I
II
III
98,3
IV
0 5
0 0
9 5
Å-E.


16
4076,9
I
II
III
IV
7,5
7,0
6,5
Å-E.


17
4014,0
I
II
III
IV
1,5
1,0
0,5
Å-E.


18
2943,2
I
II
III
IV
4,5
4,0
Å-E.